



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 13 030 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:
C 23 C 16/44

⑦1 Aktenzeichen: 101 13 030.9
⑦2 Anmeldetag: 17. 3. 2001
⑦3 Offenlegungstag: 19. 9. 2002

DE 101 13 030 A 1

⑦1 Anmelder:
GfE Metalle und Materialien GmbH, 90431
Nürnberg, DE

⑦4 Vertreter:
Patentanwälte Ruff, Wilhelm, Beier, Dauster &
Partner, 70174 Stuttgart

⑥1 Zusatz zu: 199 45 299.7

⑦2 Erfinder:
Breme, Frank, 91341 Röttenbach, DE; Buttstädt,
Johannes, 90556 Cadolzburg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Plasmabeschichtungsverfahren und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Plasmabeschichtungsverfahren, insbesondere ein PACVD-Verfahren. Aufgabe der Erfindung ist es, die Bildung möglichst gleichmäßiger Schichten mittels einer plasmaaktivierten chemischen Gasabscheidung (PACVD, Plasma Activated Chemical Vapor Deposition) zu erreichen.

Zur Beschichtung des Substrates mit dem Schichtbildner, der in Form einer den Schichtbildner beinhaltenden Prekursor-Substanz Teil der Prozessgas-Atmosphäre ist, wird wenigstens einmal ein Beschichtungsvorgang durchgeführt, wobei während des Beschichtungsdurchganges wenigstens einmal ein Plasma gezündet und damit eine Beschichtung des Substrates mit dem Schichtbildner erzeugt wird. Gemäß der Erfindung wird wenigstens ein erster und wenigstens ein zweiter Beschichtungsvorgang durchgeführt. Dabei wird das Substrat vom Prozessgas während erster Beschichtungsvorgänge in einer ersten Überströmungsrichtung überströmt und während der zweiten Beschichtungsvorgänge in einer zweiten, der ersten Überströmungsrichtung entgegengesetzten Überströmungsrichtung überströmt.

DE 101 13 030 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Plasmabeschichtungsverfahren, insbesondere ein PACVD-Verfahren. Plasmaabschichtungsverfahren, bei denen ein Substrat, insbesondere ein Kunststoffsubstrat mittels Plasmabeschichtung mit einer dünnen, geschlossenen, insbesondere metallhaltigen Schicht beschichtet werden, sind beispielsweise aus der EP 0 897 997 A1 bekannt. Darüber hinaus ist es auch aus der EP 0 881 197 A2 bekannt, eine Beschichtung mittels eines PACVD-Verfahrens (Plasma Activated Chemical Vapor Deposition) zu erzeugen.

[0002] Darüber hinaus ist in der nicht vorveröffentlichten DE 199 45 299, der Stammanmeldung zu dieser Zusatzanmeldung, beschrieben, ein PACVD-Verfahren zyklisch vorzunehmen und vor jeder Plasmaerzeugung erneut die ursprüngliche Prozessgas-Atmosphäre herzustellen, also die Gasatmosphäre, in der das Plasma erzeugt wird, zu regenerieren. Auch in der Doktorarbeit "Beschichtung von Kunststoffen mit titan- und tantalhaltigen Materialien durch plasmaaktivierte chemische Gasphasenabscheidung", Universität Erlangen-Nürnberg von Frank Brehme (Tag der Promotion 17.12.1999) ist, beispielsweise auf den Seiten 105 bis 107, beschrieben, wie mittels einer Prozessgasregeneration entweder durch periodisches Erzeugen des Plasmas bei konstantem Gasstrom oder auch durch Spülen der Prozessgasatmosphäre zwischen zwei Plasmaerzeugungen eine Verbesserung der Beschichtungsqualität der Beschichtungs-effizienz bei der Beschichtung von dreidimensionalen Substraten erreicht werden kann.

[0003] Wird bei einer plasmaaktivierten chemischen Gasphasenabscheidung (PACVD) das Plasma periodisch erzeugt und unterbrochen, so ergibt sich nicht, wie es zu erwarten wäre, eine über die in Strömungsrichtung gesehene Längsrichtung des Substrates gleichmäßige Schichtdicke, sondern vielmehr eine in Strömungsrichtung linear abnehmende Schichtdicke. Eine derartige Entwicklung ist äußerst überraschend, da aufgrund der gepulsten Durchführung mit der zwischenzeitlichen Prozessgasregeneration eine gleichmäßige Schichtdickenbildung bei der Abscheidung zu erwarten wäre, da das Prozessgas in gleichmäßiger Konzentration während der Plasmaerzeugung vorhanden ist. Auch wird die gleichmäßige Beladung der Prozessgasatmosphäre mit abzuschheidender Precursor-Substanz durch den möglichst laminaren Prozessgasfluß im Reaktionsgefäß eher gefördert denn behindert. Daher ist eine Verarmung des Prozessgases mit Precursor-Substanz über die Länge des Strömungsweges in der Reaktorkammer und daher die eintretende wegabhängige Variation der Schichtdicke nicht zu erwarten.

[0004] Demgegenüber ist es Aufgabe der Erfindung, die Bildung möglichst gleichmäßiger Schichten mittels einer plasmaaktivierten chemischen Gasabscheidung (PACVD), (Plasma Activated Chemical Vapor Deposition) zu erreichen.

[0005] Das Erreichen möglichst gleichmäßiger Schichtdicken, mit Schichtdickenabweichungen möglichst im Bereich von unterhalb von 5% und insbesondere mit Schichtdickenabweichungen die maximal zwischen weniger als 1% und bis zu 5% liegen, werden beispielsweise bei der Beschichtung von optischen Gläsern, ob diese nun aus einem Kunststoff-Material oder tatsächlich aus Glas hergestellt sind, mit die optischen und mechanischen Eigenschaften der Linse beeinflussenden Beschichtungen benötigt. So muß z. B. zur Erzeugung von sogenannten Anti-Reflex-Schichten bei Brillengläsern (optische Linsen aus Glas oder Kunststoff) die Schichtdicke mit einer maximalen Abweichung von 5% über die Ausdehnung der Linse hinweg erzeugt wer-

den. Dabei handelt es sich beispielsweise um Schichten die eine Schichtdicke in der Größe von einem Viertel der Wellenlänge des Lichts im optisch sichtbaren Bereich aufweist. Über diese Schichten wird erreicht, dass keine sichtbare Reflexion an der Linse der Linse entsteht. Es ist auch bekannt, sehr dünne Schichten zur Beeinflussung der chromatischen Eigenschaften von Linsen, beispielsweise bei Teleobjektiven zur Korrektur der sogenannten chromatischen Aberration also des unterschiedlichen Brechverhaltens bei unterschiedlicher Wellenlänge, auf Linsen aufzutragen. Bei allen derartigen Anwendungen einer plasmaaktivierten Gasphasenabscheidung ist es jedoch für die Erzielung der gewünschten optischen Eigenschaften wichtig, dass die maximale Schichtdickenabweichung weniger als 5% beträgt. Auch die mechanischen Eigenschaften, beispielsweise die Kratzfestigkeit von Kunststoffgläsern, kann durch aufgetragene Beschichtungen verbessert werden.

[0006] Die Aufgabe der Erfindung wird bei Zugrundelegen der gattungsgemäßen Merkmale erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weitere unabhängige Ansprüche betreffen die Ausgestaltung einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß der Erfindung sowie eines Substratträgers, der geeignet ist, mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zu beschichtende Substrate, wie Linsen, die für den optischen Spektralbereich bestimmt sind, während der Durchführung des Verfahrens aufzunehmen.

[0007] Bei einem erfindungsgemäßen Plasmabeschichtungsverfahren, insbesondere einem PACVD-Verfahren, wird das Substrat in eine Reaktionskammer eingebracht und in der Reaktionskammer eine Prozessgas-Atmosphäre erzeugt. Hierzu durchströmt das Prozessgas die Reaktionskammer. Zur Beschichtung des Substrates mit dem Schichtbildner, der in Form einer den Schichtbildner beinhaltenden Precursor-Substanz Teil der Prozessgas-Atmosphäre ist, wird wenigstens einmal ein Beschichtungsvorgang durchgeführt, wobei während des Beschichtungsdurchganges wenigstens einmal ein Plasma erzeugt und damit eine Beschichtung des Substrates mit dem Schichtbildner erzeugt wird. Gemäß der Erfindung wird wenigstens eine Schicht auf dem Substraterzeugten und zur Erzeugung einer Schicht auf dem Substrat jeweils wenigstens ein erster und wenigstens ein zweiter Beschichtungsvorgang durchgeführt. Dabei wird das Substrat in der Reaktionskammer vom Prozessgas während erster Beschichtungsvorgänge in einer ersten Überströmungsrichtung überströmt. Während der zweiten Beschichtungsvorgänge wird das Substrat in der Reaktionskammer vom Prozessgas in einer zweiten Überströmungsrichtung überströmt, die der ersten Überströmungsrichtung entgegengesetzt ist.

[0008] Mittel der Durchführung eines Beschichtungsvorgangs mit einer Überströmung des Substrates in der Reaktionskammer in einer Richtung und der Durchführung eines zweiten Beschichtungsvorganges mit einer Überströmung des Substrates in der Reaktionskammer in der entgegengesetzten Durchströmungsrichtung wird gemäß der Erfindung eine Kompensation der linearen Schichtdickenabnahme dahingehend erreicht, dass über die gesamte zu beschichtende Fläche hinweg eine Abweichung der Schichtdicke von dem vorgegebenen Sollwert von weniger als 5% erreichbar ist. Insbesondere sind Schichtdickenabweichungen über die Fläche hinweg von weniger als 2% bis 3%, bis hinunter zu einer Schichtdickenabweichung von weniger als 1% erreichbar. Die Umkehrung der Überströmungsrichtung des Substrates kann beispielsweise durch ein Verdrehen des Substrates um 180° bezüglich einer rechtwinklig zur Strömungsrichtung verlaufenden Schwenkachse erfolgen. Gemäß bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung erfolgt das

Umkehren der Überströmungsrichtung durch ein Umkehren der Durchströmungsrichtung der Reaktionskammer durch das Prozessgas.

[0009] Gemäß bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung besteht während eines Beschichtungsvorganges ein stationärer Strömungszustand des Prozessgases in der Reaktionskammer. Gemäß bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung handelt es sich bei dem stationären Strömungszustand um einen Zustand laminarer Strömung konstanter Strömungsgeschwindigkeit. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn während der Durchführung erster Beschichtungsvorgänge und der Durchführung zweiter Beschichtungsvorgänge ein gleicher stationärer Strömungszustand besteht, also insbesondere die Strömungsgeschwindigkeit in der ersten Überströmungsrichtung der Strömungsgeschwindigkeit in der zweiten Überströmungsrichtung des Substrates entspricht. Dabei werden Strömungsgeschwindigkeiten die im Bereich zwischen 0,1 cm/s und 10 cm/s liegen bevorzugt. Die Strömungsgeschwindigkeit des Prozessgases mit dem darin enthaltenen Schichtbildner ist dabei im wesentlichen dadurch limitiert, dass es gewährleistet sein muß, dass in den Bereichen, in denen mit Substrat beschichtet wird, eine möglichst laminare Strömung erreicht wird. Das Entstehen von Turbulenzen in der laminaren Strömung könnte zu größeren Schichtdickenabweichungen führen.

[0010] Um eine möglichst gleichmäßige Schichtdicke mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zu erreichen, ist es vorteilhaft, wenn die Beschichtungsdauer der durchgeführten ersten und zweiten Beschichtungsvorgänge einander entsprechen. Um die Entsprechung der Beschichtungsdauern der ersten und zweiten Beschichtungsvorgänge sicherzustellen, kann zum einen die Beschichtungsdauer eines Beschichtungsvorganges dadurch bestimmt werden, dass die Zeit gemessen wird, während der ein Plasma erzeugt wird wobei dann auch unterschiedliche Plasma-Erzeugungsdauern innerhalb eines Beschichtungsvorganges vorgenommen werden können – also die Beschichtungsdauern der Beschichtungsvorgänge voneinander unabhängig sind. Alternativ oder ergänzend hierzu ist es auch möglich, dass die Dauer der Plasmaerzeugung und dazwischengeschalteter Phasen der Prozessgasregeneration konstant ist und zyklisch aufeinander abfolgt. In diesem Fall genügt es zur Bestimmung der Beschichtungsdauer die Anzahl der durchgeführten Zyklen mitzuzählen. Ein Beschichtungsvorgang besteht also aus einer Anzahl Zyklen, ein Zyklus aus einer Plasmaerzeugung und einer Plasmaerzeugung.

[0011] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt das Beschichtungsverfahren so, dass wenigstens drei Beschichtungsvorgänge durchgeführt werden, wobei abwechselnd erste und zweite Beschichtungsvorgänge aufeinanderfolgen. Dies kann insbesondere dadurch realisiert werden, dass drei Beschichtungsvorgänge, nämlich ein erster, dann ein zweiter und anschließend wiederum ein erster Beschichtungsvorgang durchgeführt werden. Dabei wird die Beschichtungsdauer der beiden ersten Beschichtungsvorgänge halb so groß gewählt wie die des zweiten Beschichtungsvorganges. Somit ergibt sich für die Gesamtdauer, also der Summe aus den zwei ersten Beschichtungsvorgängen eine gleiche Beschichtungsdauer wie für den zweiten Beschichtungsvorgang. Unter entsprechender Anpassung des Verhältnis zwischen dem Beschichtungsdauern können so auch anstelle der drei Beschichtungsvorgänge vier, fünf oder noch mehr Beschichtungsvorgänge durchgeführt werden, wobei immer alternierend ein erster und ein zweiter Beschichtungsvorgang, also eine Durchströmung der Reaktionskammer in der ersten Durchströmungsrichtung und in der zweiten, der ersten entgegengesetzten Durchströmungsrichtung erfolgt.

[0012] Gemäß vorteilhafter Ausgestaltungen erfolgt zwischen den ersten und zweiten Beschichtungsvorgängen das Abwarten eines Warteintervalls. Die Einführung des Warteintervalls dient zum einen der besseren Regeneration der Prozessgasatmosphäre und zum anderen dem Herstellen von, von der Umkehrung der Überströmungsrichtung des Substrats, nicht mehr beeinflusster Strömungsverhältnisse. Dies kann insbesondere dann der Fall sein, wenn ein stationärer, vorzugsweise laminarer Strömungszustand in der ganzen Reaktionskammer wieder hergestellt werden muß. Das Abwarten eines Warteintervalls zwischen den ersten und zweiten Beschichtungsvorgängen hat darüber hinaus auch noch den Vorteil, dass sich in der Reaktionskammer wieder ein Zustand einstellt, wie er zu Beginn des ersten durchgeführten Beschichtungsvorganges nahezu bestanden hat. Die Temperatur in der Prozesskammer kann wieder auf die Ausgangstemperatur zurückgeführt werden, auch die Temperatur des Substrates kann sich wieder auf den Ausgangswert abkühlen. Das Einführen des Warteintervalls erhöht insgesamt gesehen also die Gleichmäßigkeit der Bedingungen, unter denen die Beschichtungsvorgänge nacheinander durchgeführt werden. Über diese Gleichmäßigkeit der Reaktionsbedingungen wird auch eine weitere Verbesserung der Gleichmäßigkeit der Schichtdicke und somit eine Reduktion der Schichtdickenabweichung erzielt. Die Dauer des Warteintervalls bestimmt sich unter anderem in Abhängigkeit der Länge der durchgeführten Plasmaerzeugung und der Anzahl der Zyklen der Plasmaerzeugungen während des vorhergehenden Beschichtungsvorganges. In der Regel wird die Dauer des Warteintervalls bis zu 60 Sekunden betragen und liegt insbesondere ca. bei 30 Sekunden, die Untergrenze liegt bei wenigen Sekunden, ist aber durch die Zeit, die das Gas benötigt, um die Reaktionskammer zu durchströmen nach unten begrenzt.

[0013] Wie schon dargelegt, kann ein Beschichtungsvorgang aus einer Anzahl von mehreren aufeinanderfolgenden Zyklen bestehen, wobei in jedem Zyklus zunächst eine geeignete Prozessgasatmosphäre erzeugt wird und anschließend für eine bestimmte Plasmabrenndauer ein Plasma erzeugt wird. Dabei liegt die Dauer der Plasmaerzeugung, also die Brenndauer, in Abhängigkeit des Verbrauches der Precursor-Substanz, die in dem Prozessgas enthalten ist, beispielsweise in einem Bereich zwischen einer und zehn Sekunden und liegt vorzugsweise ungefähr bei zwei bis fünf Sekunden. Die Erzeugung der Prozessgasatmosphäre dauert dann in jedem Zyklus ca. fünf bis sechs Sekunden, beträgt maximal bis zu zwanzig Sekunden und als Schätzwert immer ungefähr das Doppelte der Brenndauer des Plasmas. Das Erzeugen einer geeigneten Prozessgasatmosphäre kann insbesondere durch eine kontinuierliche Zufuhr von Prozessgas vorzugsweise in stationärer, laminarer Durchströmung der Reaktionskammer erfolgen. Dabei erfolgt die Durchströmung der Reaktionskammer nicht nur während der Phase der Prozessgas-Regeneration in einem Zyklus, sondern auch während des Erzeugens eines Plasmas. Dies ist allein schon deshalb von Vorteil, weil dann Strömungs-differenzen in der Reaktionskammer zu Beginn und am Ende der Prozessgaseinleitung nicht auftreten. Der Zeitbedarf für einen vollständigen Gasaustausch in der Reaktionskammer bemisst sich nach dem Volumen und der Strömungsgeschwindigkeit in der Reaktionskammer, liegt aber in der Regel zwischen drei und zwanzig Sekunden, so dass in einem Zyklus die Prozessgasregeneration innerhalb dieses Zeitintervalls gewählt wird. Es ist aufgrund der stets gleichförmigen Durchführung der einzelnen Zyklen möglich, die Dauer eines Beschichtungsvorganges über die Anzahl der durchgeführten Zyklen zu bestimmen. Die Anzahl der durchgeführten Zyklen für die Durchführung eines Be-

schichtungsvorganges liegt dabei vorzugsweise zwischen 20 und 100, dies führt zu Dauern eines Beschichtungsvorganges in der Größenordnung von ca. 5 Minuten.

[0014] Es ist möglich, dass nach Durchführung einer bestimmten Anzahl von Zyklen eine Evakuierung der Reaktionskammer mit anschließender neuer Befüllung mit einer Prozessgasatmosphäre erfolgt.

[0015] Das Evakuieren und neue Befüllen mit Prozessgas sorgt für eine noch sicherere Erneuerung der Prozessgasatmosphäre und Herstellung des Grundzustandes. Dabei kann zwischen dem Evakuieren und dem Wiederbefüllen mit Prozessgas noch ein Spülen der Reaktionskammer mit einem inerten Gas erfolgen. Obgleich es möglich ist, auch nach einer Anzahl von Zyklen eines Beschichtungsvorganges eine solche Spülung und Evakuierung vorzunehmen, ist es vorteilhaft, diese Maßnahme nur dann vorzunehmen, wenn ein Wechsel zwischen einem ersten und einem zweiten Beschichtungsvorgang erfolgt.

[0016] Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass mehrere Schichten auf ein Substrat aufgetragen werden können, ohne dass es hierzu erforderlich wäre, das Substrat aus der Reaktionskammer zu entfernen oder diese zu belüften. Dies erfolgt insbesondere dadurch, dass das Prozessgas zum Erzeugen der unterschiedlichen Schichten verändert wird. Hierzu wird insbesondere die Beladung des Prozessgases mit Precursor-Substanz verändert. Es ist so zum Beispiel möglich, unterschiedliche Schichtfolgen, wie A-B-C, A-B oder A-B-A-B zu erzeugen, wobei jeder der Buchstaben, A, B, C hierbei einen Schichttyp, also die Erzeugung einer Schicht mit einem bestimmten Schichtbildner, repräsentiert.

[0017] Bei einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Beschichtung eines Substrates mit einer vorzugsweise metallhaltigen Schicht, die besonders zu einer Durchführung nach einem Verfahren gemäß der Erfindung geeignet ist, wird das Substrat in einer Reaktionskammer angeordnet. Zur Umkehr der Überströmrichtung des Substrates kann beispielsweise eine Substrat-Schwenkvorrichtung vorgesehen sein, die es erlaubt, das Substrat um 180° gegenüber der Strömungsrichtung zu verschwenken, ohne die Reaktionskammer zu belüften.

[0018] Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung weist die Reaktionskammer eine Gaszufuhrleitung und, in aller Regel auf der der Gaszufuhrleitung gegenüberliegenden Seite der Reaktionskammer eine Gasabfuhrleitung auf. Mittels einem Plasmaerzeuger, beispielsweise durch einen Sender im Radiofrequenzbereich von 13,56 MHz oder aber auch 27,12 MHz, einem Mikrowellensender (eingekoppelte Frequenz im Bereich von 2,1 GHz) oder aber ein Gleichstrom-Plasmaerzeuger, kann in der Reaktionskammer ein Plasma erzeugt werden. Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung sind Gaszufuhrleitung und Gasabfuhrleitung so ausgebildet, dass die Strömungsrichtung des Prozessgases in der Reaktionskammer umkehrbar ist. Die Umkehrung der Strömungsrichtung in der Reaktionskammer kann insbesondere dadurch erreicht werden, dass die Gaszufuhr über die eigentliche Gasabfuhrleitung und die Gasabfuhr über die eigentliche Gaszufuhrleitung erfolgt. Gemäß einer weiterführenden vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist hierzu vorgesehen, dass die Gaszufuhrleitungen und die Gasabfuhrleitungen beiderseits der Reaktionskammer einen gemeinsamen Leitungsabschnitt aufweisen. Jeweils ein gemeinsamer Leitungsabschnitt führt von einem Stellventil zu einem Anschluß für die Gasleitungen an der Reaktionskammer. Über das Stellventil, das elektrisch schaltbar ist, und auch als Ventilanordnung aus mehreren Ventilen ausgebildet sein kann, erfolgt die Verbindung je eines der gemeinsamen Leitungsabschnitte mit der Gaszufuhrleitung und des ande-

ren gemeinsamen Leitungsabschnittes mit der Gasabfuhrleitung. Dabei kann in besonders einfacher Weise die Betriebssicherheit der Vorrichtung dadurch verbessert werden, dass das Stellventil derart ausgebildet bzw. angesteuert ist, dass stets eine Gaszufuhrleitung und eine Gasabfuhrleitung mit der Reaktionskammer, jeweils über einen gemeinsamen Leitungsabschnitt, verbunden ist.

[0019] Gemäß vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist der Mündungsbereich von Gasleitungen in die Reaktionskammer jeweils als Diffusor-Bereich ausgebildet. Zwischen den beiden Diffusor-Bereichen erstreckt sich ein Arbeitsbereich, wobei mittels der Gestaltung der Diffusor-Bereiche in dem Arbeitsbereich eine möglichst gleichförmige, insbesondere laminare Strömung gleichmäßiger und gleichförmiger Strömungsgeschwindigkeit erzeugbar ist. Hierzu können insbesondere am Übergang vom Diffusor-Bereich zum Arbeitsbereich Strömungsleitmittel angeordnet sein. Hierbei ist zu beachten, dass im gesamten Arbeitsbereich der Gradient der Strömungsgeschwindigkeit quer zur Strömungsrichtung möglichst gering sein sollte.

[0020] Damit voneinander verschiedene Schichten innerhalb der gleichen Reaktionskammer erzeugt werden können, kann die Reaktionskammer alternativ mit unterschiedlichen Prozessgasquellen verbunden werden. Die Beladung des Trärgases mit Precursor-Substanz, zur Bildung des Prozessgases, erfolgt beispielsweise über Bubbler, so dass eine derartige Prozessgasquelle aus einer Trärgaszufuhr und einem Bubbler besteht.

[0021] Zur Halterung der Substrate in der Reaktionskammer können Substraträger vorgesehen sein, die so ausgebildet sind, dass das Substrat zumindest auf zwei normal zur Strömungsrichtung ausgerichteten Flächen beschichtbar ist, d. h. im Strömungsbereich des Prozessgases durch die Reaktionskammer liegen. Dies ist insbesondere bei Linsen dann der Fall, wenn die Linse in ihrem Rand gehalten wird und die gewölbten, also lichtbrechenden Flächen der Linse der Strömung ausgesetzt sind. Die Beschichtung wird mit in der Prozessgas-Atmosphäre der Reaktionskammer in Form eines Precursor bevorrateten Schichtbildner, dann auf den optisch wirksamen Flächen der Linse erzeugt. Dadurch, dass die Linse mit zwei Flächen, nämlich ihrer Lichteinfallseite und ihrer Lichtausfallseite der Prozessgas-Strömung ausgesetzt ist, erfolgt die beidseitige Beschichtung in einem gleichzeitig ablaufenden Beschichtungsvorgang. Es ist nicht notwendig, zuerst die eine Seite der Linse zu beschichten und anschließend die andere Seite der Linse. Dadurch werden die Beschichtungsprozesse der Linsen, die herkömmlich zunächst auf der einen und dann auf der anderen Seite vorgenommen wurden, beispielsweise durch Sputtern, erheblich verkürzt.

[0022] Es ist vorteilhaft, wenn in der Reaktionskammer wenigstens eine Reihe von wenigstens zwei hintereinander angeordneten, zueinander beabstandeten Substraten so angeordnet ist, dass sich zwischen den Substraten eine laminare Prozessgasströmung ausbilden kann. Durch diese Anordnung der Substrate in Reihen quer zur Strömungsrichtung wird es ermöglicht, die Anzahl der in einem Beschichtungsvorgang beschichtbaren Substrate zu erhöhen. Dem gleichen Zweck dient es, wenn quer zur Strömungsrichtung wenigstens zwei nebeneinander angeordnete Reihen vorgesehen sind, wobei jede Reihe aus wenigstens einem Substrat gebildet wird. Darüber hinaus ist es alternativ oder zusätzlich möglich, mehrere Ebenen mit Substraten in Strömungsrichtung gesehen hintereinander anzuordnen, wobei in jeder der Ebenen wenigstens eine Reihe aus wenigstens einem Substrat vorgesehen ist. Insgesamt gesehen kann Substrat in der Reaktionskammer also in einer Art dreidimensionalen räumlichen Gitterstruktur angeordnet werden. Durch diese

Möglichkeit wird die "Packungsdichte" der Substrate gegenüber herkömmlichen Verfahren bezüglich dem Volumen der Reaktionskammer deutlich erhöht. Dennoch können alle Substrate mit gleicher Schichtdicke beschichtet werden und darüber hinaus kann noch die Gleichmäßigkeit der Schichtdicke erhöht, also die Schichtdickenabweichung der Beschichtung verringert werden.

[0023] Damit die Qualität der Beschichtung in allen Bereichen möglichst gleichmäßig ist, wird vorgesehen, dass in der Reaktionskammer Halter für die Befestigung von wenigstens einem Substraträger ausgebildet sind, die so quer zur Strömungsrichtung verlaufen und die so ausgebildet sind, dass in den Bereichen, in denen Substrat zur Beschichtung angeordnet ist, keine Störung des stationären Strömungszustandes, also insbesondere der laminaren Strömung, eingeleitet wird.

[0024] Gemäß der Erfindung ist es vorteilhaft, die Substraträger zur Beschichtung mit einer insbesondere metallhaltigen Schicht so auszubilden, dass der Substraträger zu den zu beschichtenden, normal zur Durchströmungsrichtung der Reaktionskammer ausgerichteten Flächen des Substrates eine flächenbündige Anlage ausbildet. Die Ausbildung der möglichst flächenbündigen Anlage stellt sicher, dass die laminare, bzw. stationäre Strömung durch die Überströmung der Übergangsstelle zwischen Substraträger und Substrat nicht gestört wird und Turbulenzen sowie Bereiche verstärkter oder abgeschatteter Prozessgas-Strömung nicht entstehen. Diese Maßnahme dient dem Zweck, eine möglichst gleichmäßige Schicht auf dem Substrat zu erzeugen.

[0025] Gemäß bevorzugter Ausgestaltung weist der Substraträger in den Anströmrichtungen eine substratfreie Anströmfläche auf, wobei sich im Bereich der Anströmfläche Perturbationen aus der Anströmung des Substraträgers beruhigen und sich für Substrat aufnehmende Bereiche des Substraträgers eine stationäre, vorzugsweise laminare Strömung ergibt. Die Anströmkanten können dabei in der Reaktionskammer quer zu den Durchströmungsrichtungen ausgerichtet sein und sind gemäß bevorzugter Ausgestaltung wenigstens zwei Zentimeter breit. Zur Halterung des Substraträgers in der Reaktionskammer können an dem Substraträger darüber hinaus Halter abragen. Die Halter sind dabei zumindest auch quer zur Strömungsrichtung seitlich vom Substraträger abragend ausgebildet. Auch im Bereich des Übergangs von Halter zum eigentlichen Substraträger sind substratfreie Anströmflächen ausgebildet. Auch diese Anströmflächen dienen dazu, Störungen der Strömung und des stationären Strömungszustandes zumindest in den Bereich zu vermeiden, in denen Substrat angeordnet ist.

[0026] Das vorliegende Verfahren und die hierfür geeigneten Vorrichtungen und Hilfsmittel können, wie bereits dargelegt, insbesondere zur Beschichtung von Substraten mit metallhaltigen Substanzen verwendet werden. Als Substrate können dabei insbesondere Linsen, insbesondere vorzugsweise Linsen deren Arbeitsbereich im optischen Spektralbereich also den Bereich des sichtbaren Lichtes liegt, verwendet werden. Derartige Linsen finden sich in fotografischen Systemen beispielsweise bei Objektiven von Kameras und optischen Instrumenten genauso wie bei Brillengläsern in großer Häufigkeit wieder. Diese Linsen müssen gegebenenfalls mit mehreren voneinander verschiedenen, optisch aktiven Beschichtungen beschichtet werden, deren Schichtdicke über die Linsenfläche betrachtet eine Abweichung der Schichtdicke von höchsten jeweils 5% aufweist. Die Schichtdicken liegen dabei im Bereich eines Bruchteils, also insbesondere bei einem Halben oder einem Viertel, der Wellenlänge des Lichtes. Hierzu werden derartige Substrate-Linsen – sowohl mit niedrigbrechenden als auch mit hochbrechenden Schichtbildner beschichtet. Als Schicht-

bildner kommen insbesondere metallhaltige Verbindungen, vorzugsweise Metalloxide in Frage. Es handelt sich beispielsweise bei niedrigbrechenden Schichtbildnern um Siliziumoxid, hochbrechende Schichtbildner können beispielsweise auf der Basis von Titanoxid, Hafniumoxid, Zinkoxid, Nickeloxid und Tantaloxid gebildet werden. Dabei ist die metallische Substanz in der Regel in einem zu verdampfenden Precursor enthalten, während der Sauerstoff als Oxidbildner in dem zugeführten Prozessgas in Form von Sauerstoff enthalten ist. In sauerstofffreier Atmosphäre können auch rein metallische Beschichtungen und Kombinationen aus metallischen Schichtbildner und beispielsweise Kohlenstoff oder Stickstoff als weiterer Komponente, also nichtmetallischen Atomen, gebildet werden. Metallhaltige Schichten können sowohl auf Kunststoffoberflächen (Beispiel: Kunststoff-Gläser für Brillen) als auch auf Gläsern aufgetragen werden. Schichtdicken, insbesondere für metallhaltige Schichtbildner bemessen sich dabei typischerweise an der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes von 500 nm bis 700 nm, sind jedoch im wesentlichen von den beabsichtigten Anwendungszweck abhängig. Meist liegen gewünschte Schichtdicken im Bereich zwischen 10 und 100 nm. Das Beschichtungsverfahren kann auch bei relativ niederen Temperaturen ausgeführt werden. Der mögliche Temperaturbereich erstreckt sich von der Raumtemperatur weg auf Temperaturen etwas oberhalb von 100°C. Insbesondere bei der Beschichtung von Linsen aus Kunststoffen ist es wichtig, dass die Beschichtungstemperatur in der Reaktionskammer möglichst niedrig ist, damit eine Formveränderung der Substrate während der Beschichtung nicht eintritt. Hierbei empfehlen sich insbesondere Prozesstemperaturen von 40°C bis ca. 80°C meist jedoch von unter 60°. In diesem Temperaturbereich erfolgt einerseits eine qualitativ gute Beschichtung und andererseits keine Veränderung des Substrates. Die Temperatur, die in der Reaktionskammer während des Beschichtungs Vorganges herrscht, ist auch wesentlich von dem Druck der Prozessgasatmosphäre abhängig. Der Druck der Prozessgas-Atmosphäre während der Ausführung des Prozesses liegt insbesondere im Bereich zwischen 0,1 mbar und 10 mbar. Ebenso liegt der Volumenstrom des Prozessgases in einer Größenordnung von 0,02 bis 10 Liter pro Minute. Ein weiteres wesentliches Einflusskriterium auf die Schichtbildung stellt die Beladung der Prozessgas-Atmosphäre mit Precursor-Substanz dar. Diese Beladung ist abhängig von der Temperatur, bei der der Beschichtungsprozess durchgeführt wird sowie der Precursor-Substanz selbst. Als Precursor-Substanzen werden meist Feststoffe verwendet, für den Fall der Ausbildung einer metallhaltigen Schicht kann beispielsweise Tetrakisaminotitan als Precursor-Substanz verwendet werden. Die Wahl der Precursor-Substanz beeinflusst selbstverständlich wesentlich die Zusammensetzung der Schicht, die auf dem Substrat ausgebildet wird.

[0027] Die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei möglichst niederen Temperaturen hat auch den Vorteil, dass unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen dem Schichtbildner und dem Substrat wenig ins Gewicht fallen und damit eine bessere Anhaftung des Schichtbildners auf dem Substrat erzielbar ist. Relativ kalte Abscheidungsprozesse liegen in einem Temperaturbereich von unterhalb 100°C, insbesondere unterhalb von 80°C und meist etwas von 40°C, obgleich auch Temperaturen unterhalb von 40°C denkbar sind. Die Substraträger müssen, aufgrund der Tatsache, dass sie einem Plasma ausgesetzt werden, aus einem nichtleitenden, nichtmetallischen Material bestehen. Aufgrund der Möglichkeit, aufgetragene Schichten einfach von der Oberfläche des Materials des Substraträger zu entfernen, kommt insbesondere Teflon in

Frage. Das Teflon ist auch gegenüber den eingeleiteten elektromagnetischen Wellen, die der Erzeugung des Plasmas in der Reaktionskammer dienen, wenig empfindlich und daher von guter Eignung.

[0028] Die vorstehenden und weiteren Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei einer Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können, für die hier Schutz beansprucht wird. Nachfolgend wird die Erfindung noch anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert; dabei zeigt:

[0029] Fig. 1 das Flussdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0030] Fig. 2 das Flussdiagramm eines Beschichtungsvorganges eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0031] Fig. 3 einen Substratträger gemäß der Erfindung in schematischer Darstellung;

[0032] Fig. 4a eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens und

[0033] Fig. 4b die schematische Darstellung einer Reaktionskammer mit einem darin angeordneten Substrat während eines ersten und eines zweiten Beschichtungsvorganges.

[0034] Die Fig. 1 zeigt das Flussdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0035] Gemäß dem Schritt 101 wird zunächst das Substrat in die Reaktionskammer eingebracht. Hierzu wird vorab das Substrat in einem Substratträger befestigt und der Substratträger anschließend mittels seiner in der Reaktionskammer ausgebildeten Halterungen dort feststehend und lageunveränderlich gehalten werden. Anschließend erfolgt gemäß dem Schritt 102 ein Evakuieren der Reaktionskammer. Dabei wird die Reaktionskammer in aller Regel auf einen Druck evakuiert, der weit geringer ist, als der Druck bei dem das Beschichtungsverfahren durchgeführt wird. Diese Maßnahme dient dazu, möglichst wenig Störungen aus der Atmosphäre in die Prozessgas-Atmosphäre hinüberzunehmen. In diesem Zusammenhang können auch Spülungen mit Inertgasen durchgeführt werden. Es ist beispielsweise möglich, die Reaktionskammer auf einen Druck unterhalb von 10^{-2} mbar zu evakuieren. Derartige Drücke sind mit modernen Pumpenanordnungen noch relativ einfach und schnell zu erreichen, gewährleisten andererseits jedoch auch, dass nur wenige Gase aus der Atmosphäre weiterhin in der Reaktionskammer enthalten sind.

[0036] Gemäß dem Schritt 103 erfolgt nach dem Evakuieren der Reaktionskammer das Erzeugen der Prozessgasatmosphäre. Hierzu wird Prozessgas über die Prozessgaszufuhrleitung in die Reaktionskammer eingeleitet. Dabei kann es von Vorteil sein, wenn gleichzeitig Prozessgas auch über die Prozessgasabfuhrleitung evakuiert wird und so eine Durchströmung mit Prozessgas für eine bestimmte Zeit erreicht wird. Auch muß der für die Durchführung des Verfahrens geeignete Prozessgas-Druck erreicht werden. Beschichtungsverfahren werden in der Regel bei Drücken zwischen 0,1 mbar und 10 mbar durchgeführt. Bevorzugt sind Prozessgasdrücke im Bereich zwischen einem oder 2 mbar, da in der Regel bei diesen Drücken Prozeßgastemperaturen im Bereich von 40°C bis 100°C, insbesondere um 60°C möglich werden, die eine wünschenswert geringe Prozeß-Temperatur darstellen.

[0037] Nach dem Durchführen des Schrittes 103 wird gemäß dem Schritt 104 eine gewisse Mindestwartezeit im Bereich von bis zu einer Minute, insbesondere um ca. 30 Sekunden abgewartet. Während dieser Wartezeit wird die Reaktionskammer kontinuierlich in einer Durchströmungsrichtung

von dem Prozessgas durchströmt. Die Wartezeit dient dazu, den Aufbau einer linearen Strömung in der Reaktionskammer abzuwarten. Nach Ablauf der Wartezeit wird gemäß den Schritten 105 und 106 ein erster Beschichtungsvorgang durchgeführt. Gemäß dem Schritt 106 wird überprüft, ob das Abbruchkriterium, das dem Abbruch des ersten Beschichtungsvorganges zugeordnet ist, erfüllt ist. Erst wenn dieses Abbruchkriterium erfüllt ist, wird zum Schritt 107 übergegangen, ansonsten wird weiterhin gemäß dem Schritt 105 der erste Beschichtungsvorgang durchgeführt.

[0038] Als Abbruchkriterium für den Beschichtungsvorgang kann dabei sowohl das Abwarten einer gewissen Zeitspanne, insbesondere einer bestimmten Beschichtungsdauer, also einer Zeitdauer der Erzeugung eines Plasmas oder aber die Durchführung einer bestimmten Anzahl von Zyklen, wie sie in der Fig. 2 dargestellt sind, bewertet werden. Soweit als Abbruchkriterium für den ersten Beschichtungsvorgang die Brenndauer des Plasmas gewertet wird, so können hierfür alle Werte im Bereich von einer bis zu ca. 3 Minuten herangezogen werden. Die Anzahl von Beschichtungszyklen gemäß der, wie sie nachfolgend in der Fig. 2 noch dargestellt werden, sie als Abbruchkriterium gewertet wird, wird dabei zwischen 20 und 100 gewertet. Die Anzahl der Zyklen die durchgeführt werden, bevor der Beschichtungsvorgang abgebrochen wird bzw. die Brenndauer des Plasmas die als solches Kriterium gewertet wird, ist dabei in erster Linie von der gewünschten Schichtdicke abhängig und daher geeignet zu wählen.

[0039] Sobald im Schritt 106 festgestellt wurde, dass das Abbruchkriterium erfüllt ist, wird zum Schritt 107 übergegangen. Gemäß dem Schritt 107 wird beispielsweise durch Betätigung des wenigstens einen elektrisch schaltbaren Stellventil die Strömungsrichtung umgekehrt. Nunmehr wird also die Reaktionskammer nicht mehr in der ersten Strömungsrichtung vom Prozessgas durchströmt, sondern in der zweiten, der ersten entgegengesetzten Durchströmungsrichtung. Gemäß dem Schritt 108 wird wiederum eine Wartezeit beispielsweise im Bereich von 30 Sekunden, wobei die Wartezeit des Schrittes 108 der Wartezeit des Schrittes 104 entspricht, durchgeführt.

[0040] Nach Beendigung der Wartezeit wird gemäß dem Schritt 109 ein zweiter Beschichtungsvorgang durchgeführt, der sich von dem ersten Beschichtungsvorgang im wesentlichen dadurch unterscheidet, dass die Durchströmung der Reaktionskammer nunmehr in der zweiten, der ersten Durchströmungsrichtung entgegengesetzten Durchströmungsrichtung erfolgt. Entsprechend dem Schritt 106 wird in dem Schritt 110 überprüft ob das Abbruchkriterium für die Beendigung des zweiten Beschichtungsvorganges erfüllt wird. Dabei kann sich das Abbruchkriterium von dem Wert, bei dem der Abbruch des Beschichtungsvorganges des zweiten Beschichtungsvorganges durchgeführt wird, von dem Abbruchkriterium des ersten Beschichtungsvorganges gemäß dem Schritt 106 unterscheiden, wobei der Art nach ein gleiches Kriterium, also wiederum die Dauer der Plasmaerzeugung oder die Anzahl durchgeführter Zyklen einer zyklischen Beschichtung herangezogen wird, der Wert der Größe jedoch kann abweichen. Im vorliegenden Beispiel wird das Abbruchkriterium für den Schritt 110 für die Beendigung des zweiten Beschichtungsvorganges insbesondere doppelt so groß sein wie das Abbruchkriterium in dem Schritt 106 für die Beendigung des ersten Beschichtungsvorganges. Solange das Abbruchkriterium des Schrittes 110 noch nicht erfüllt ist, wird der zweite Beschichtungsvorgang gemäß dem Schritt 109 weiter durchgeführt.

[0041] Sobald das Abbruchkriterium des Schrittes 110 erfüllt wird, wird gemäß dem Schritt 111 die Strömungsrichtung in der Reaktionskammer wiederum umgekehrt. Von der

zweiten Durchströmungsrichtung des Prozessgases durch die Reaktionskammer wird nun wieder in die erste, der zweiten entgegengesetzten Durchströmungsrichtung gewechselt. Die nachfolgenden Schritte 112 bis 114 entsprechen den vorher schon durchgeführten Schritten 104 bis 106. Es wird gemäß dem Schritt 112 wiederum eine Wartezeit zur Erzeugung möglichst stationärer Reaktionsbedingungen in der Reaktionskammer abgewartet. Anschließend wird gemäß dem Schritt 113 ein erster Beschichtungsvorgang durchgeführt, da nunmehr die Durchströmungsrichtung des Prozessgases durch die Reaktionskammer wieder der ersten Durchströmungsrichtung entspricht. Gemäß dem Schritt 114 wird überprüft, ob das Abbruchkriterium für den ersten Beschichtungsvorgang, das insbesondere gleich gewählt ist wie das Abbruchkriterium des Schrittes 106, erfüllt ist. Falls dieses Kriterium nicht erfüllt ist, wird weiterhin der erste Beschichtungsvorgang gemäß dem Schritt 113 durchgeführt. Andernfalls wird zum Schritt 115 übergegangen.

[0042] Gemäß dem Schritt 115 wird nun abgefragt, ob über die soeben aufgetragene Schicht noch eine weitere Schicht, beispielsweise eine Schicht mit einer anderen Zusammensetzung aufgetragen werden soll. Soweit dies der Fall ist, wird zum Schritt 103 zurückgesprungen, gemäß dem zunächst einmal die für die weitere Beschichtung erforderliche Prozessgasatmosphäre erzeugt wird und anschließend die Schritte des vorher dargestellten Verfahrens, nämlich die Schritte 104 bis 114 für die weitere aufzutragende Schicht durchgeführt werden. Wird dagegen im Schritt 115 festgestellt, dass keine weitere Schicht erzeugt werden soll, so wird zum Schritt 116 übergegangen.

[0043] Gemäß dem Schritt 116 wird die Reaktionskammer nun wieder mit normaler Atmosphäre belüftet, um danach gemäß dem Schritt 117 das wunschgemäß beschichtete Substrat aus der Reaktionskammer entnehmen zu können. Nach der Entnahme des Substrates ist die Reaktionskammer zur Aufnahme und zur Einbringung eines neuen Substrates bereit, womit wiederum der Schritt 101 durchgeführt werden kann und ein neuer Beschichtungsvorgang beginnen kann.

[0044] In dem in der Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel der Erfindung werden insgesamt drei Beschichtungsvorgänge durchgeführt, nämlich zunächst ein erster, dann ein zweiter und anschließend wiederum ein erster Beschichtungsvorgang. Erfindungsgemäße Verfahren können auch durchgeführt werden, wenn zunächst ein erster und danach ein zweiter Beschichtungsvorgang durchgeführt wird. Es ist auch möglich, mehrmals alternierend hintereinander erste und zweite Beschichtungsvorgänge durchzuführen. Im wesentlichen muß nur beachtet werden, dass sowohl erste als auch zweite Beschichtungsvorgänge durchgeführt werden und dass möglichst die Beschichtungsdauern nach dem ersten Beschichtungsvorgang den Beschichtungsdauern nach dem zweiten Beschichtungsvorgängen entsprechen. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn in dem in der Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel die beiden ersten Beschichtungsvorgänge genau halb so lange andauern wie der zweite Beschichtungsvorgang.

[0045] Die Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel für einen Beschichtungsvorgang, wie er in den Schritten 105, 109 und 113 der Fig. 1 Anwendung finden kann. Dabei betreffen die Schritte 201 bis 205 des Beschichtungsvorgangs gemäß der Fig. 2 jeweils die Durchführung des Beschichtungsvorganges, während der Schritt 206 die Überprüfung des Abbruchkriteriums des Beschichtungsvorgangs gemäß den Schritten 106, 110 und 114 der Fig. 1 wiedergeben kann.

[0046] Bei einem Beschichtungsverfahren gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird gemäß Schritt 201 das Plasma gezündet. Die Zündung des Plasmas wird dabei insbesondere

durch die Aktivierung einer Radiofrequenzquelle im Bereich von 13,56 MHz oder aber durch einen entsprechenden Mikrowellen-Plasmagenerator erzeugt. Anschließend wird gemäß dem Schritt 202 überprüft, ob die gewünschte Brenndauer, von beispielsweise 3 Sekunden, abgewartet wurde. Solange dies nicht der Fall ist, wird das Plasma gemäß dem Schritt 201 weiter aufrecht erhalten, ansonsten wird zum Schritt 203 übergegangen. Übliche Plasmabrenndauern liegen dabei im Bereich von weniger als 10 Sekunden, insbesondere bei 2 bis 5 Sekunden.

[0047] Gemäß dem Schritt 203 wird die Plasmaerzeugung beendet, indem die Erregung innerhalb der Reaktionskammer durch den Plasmaerzeuger, beispielsweise die radiofrequente Energiequelle beendet wird. Gemäß den Schritten 204 und 205 wird nun durch Fortsetzung der Durchströmung der Reaktionskammer mit Prozessgas eine bestimmte Regenerationszeit in der Durchströmungsrichtung, die der Durchströmungsrichtung der Erzeugung des Plasmas entspricht also in der ersten Durchströmungsrichtung oder in der zweiten Durchströmungsrichtung, fortgeführt. Gemäß dem Schritt 205 wird überprüft, ob die gewünschte Regenerationszeit, die in der Größenordnung von 5 bis 20 Sekunden liegt und insbesondere bei ca. 5 bis 10 Sekunden liegt, erreicht wurde. Solange dies nicht der Fall ist, wird zum Schritt 204 zurückgekehrt, andernfalls wird zum Schritt 206 gesprungen.

[0048] Gemäß dem Schritt 206 wird überprüft, ob das Abbruchkriterium für den entsprechenden Beschichtungsvorgang, also die gewünschte Anzahl an Zyklen, wobei ein Zyklus jeweils aus Durchführung der Schritte 201 bis 205 besteht, erreicht wurde. Eine typische Zyklenzahl liegt dabei bei 20 bis 100 Zyklen. Wenn dies nicht der Fall ist, wird zum Schritt 201 zurückgesprungen oder der nächste Zyklus beginnt. Andernfalls wurde der Beschichtungsvorgang ordnungsgemäß abgeschlossen und es wird zum nächsten Verfahrensschritt, der sich an die Durchführung des Beschichtungsvorgangs anschließt, beispielsweise die Umkehrung der Strömungsrichtung in der Reaktionskammer gemäß den Schritten 107 und 111 der Fig. 1 übergegangen.

[0049] Durch Verfahren gemäß den Fig. 1 und 2 können gleichmäßige Schichten aus Siliziumdioxid und Titandioxid (SiO_2 und TiO_2) bei niedrigen Temperaturen von kleiner 60°C auf Kunststoff- und Glassubstraten hergestellt werden. Die gleichmäßige Beschichtung wird dabei durch die Prozeßführung, nämlich der Durchströmung der Reaktionskammer in der ersten Durchströmungsrichtung und in der zweiten Durchströmungsrichtung erreicht. Da es gleichzeitig möglich ist, mit Vorrichtungen gemäß den Fig. 3, 4a und 4b eine hohe Anzahl von Substraten in vergleichsweise kleinen, kostengünstigen Reaktoren in einem Schritt zu beschichten, erfolgt die Beschichtung zu erheblich geringeren Beschichtungskosten als herkömmliche Beschichtungsverfahren, denen durch eine zweidimensionale Beschichtung bei gleicher Kammergröße nur eine wesentlich kleinere Menge an Substraten beschichtet werden kann. Zur Erzeugung einer Titandioxidschicht kann beispielsweise der Precursor Titaniumisopropoxid (TIP) verwendet werden, der bei 25°C mittels eines Bubblers verdampft und mit dem Trägergas O_2 mit 0,1 l/min in den Reaktor transportiert werden kann. Im Reaktor befindet sich das zu beschichtende Substrat, z. B. ein Kunststoffbrillenglas des Typs CR 39, das in einem Substrathalter befestigt ist. Nachdem das beladene Glas 30 Sekunden durch den Reaktor geströmt ist und dabei einen Druck von beispielsweise 0,6 mbar herrscht, wird mit einer Zeittaktung von 3 Sekunden Plasma gezündet und 6 Sekunden Plasma nicht gezündet eine zyklische Beschichtung in einer ersten Richtung durchgeführt. Dabei wird zur Plasmaerzeugung eine Plasmaleistung von beispielsweise

350 Watt vom Plasmaerreger in die Reaktionskammer eingekoppelt. Nach einer Zeitdauer von 5 Minuten wird die Strömungsrichtung des Prozessgases in der Reaktionskammer umgekehrt und unter gleichen Bedingungen nach einer Wartezeit von 30 Sekunden der zweite Beschichtungsvorgang durchgeführt, mit gleichen Bedingungen. Es resultiert dann eine gleichmäßige beidseitige Titandioxid-Beschichtung des Glases mit einer Beschichtung von ca. 60 nm Schichtdicke und einer Schichtdickenabweichung von weniger als 5%.

[0050] Zur Durchführung einer Beschichtung mit Siliziumdioxid kann der Precursor Hexaethylidisiloxan (HEDSO) erfolgen. Der Precursor wird bei 20°C mittels eines Bubbler verdampft und mit dem Trägergas O_2 mit einem Volumenstrom von 0,1 l/min in den Reaktor transportiert. Im Reaktor befindet sich das zu beschichtende Substrat, beispielsweise wiederum ein Kunststoffbrillenglas CR 39, das in einem Substrathalter befestigt ist. Nachdem in der Reaktionskammer der Prozessdruck von beispielsweise 0,6 mbar erzeugt worden ist und das Prozessgas für eine Wartezeit von ca. 30 Sekunden in der ersten Strömungsrichtung durch die Reaktionskammer geströmt ist, wird ein zyklisches Beschichtungsverfahren durchgeführt, bei dem für eine Zeitdauer von 2 Sekunden ein Plasma mit einer eingekoppelten Plasmaleistung von ca. 200 W erzeugt wird, und anschließend für eine Regenerationszeit von 4 Sekunden die Reaktionskammer ohne Präsenz eines Plasmas gespült wird. Nach einer Zeitdauer von 5 Minuten bzw. nach Durchführung einer entsprechenden Anzahl von Zyklen wird die Strömungsrichtung umgekehrt und dann zunächst wiederum eine Wartezeit von beispielsweise 30 Sekunden abgewartet und dann mit Durchströmung der Reaktionskammer in der entgegengesetzten zweiten Durchströmungsrichtung die Beschichtung wiederum für eine Zeitdauer von 5 Minuten durchgeführt, wobei in jedem Zyklus für 2 Sekunden ein Plasma mit einer Leistung von 200 W eingekoppelt und anschließend 4 Sekunden kein Plasma eingekoppelt wird und somit die Reaktionskammer mit Prozessgasatmosphäre der Reaktionskammer regeneriert wird. Es resultiert daraus beispielsweise eine gleichmäßige beidseitige SiO_2 -Beschichtung mit einer Schichtdicke von 90 nm und einer Schichtdickenabweichung von weniger als 5%.

[0051] Beide Schichttypen können auch dadurch hergestellt werden, dass z. B. 5 mal jeweils nach 2 Minuten die Strömungsrichtung gewechselt wird, also insgesamt sechs Beschichtungsvorgänge durchgeführt werden, nämlich drei mal abwechselnd je ein erster Beschichtungsvorgang und darauf nachfolgend ein zweiter Beschichtungsvorgang. Die Durchführung einer größeren Anzahl an Umkehrungen der Strömungsrichtung der Reaktionskammer mit dem Prozessgas hat den Vorteil, dass Schwankungen im Prozeß besser ausgeglichen werden. Nachteilig ist die sich geringfügig erhöhende Prozessdauer.

[0052] Dabei können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auf einem Substrat, beispielsweise einer optischen Linse, auch mehrere voneinander verschiedene Schichten unmittelbar hintereinander und aufeinander erzeugt werden. Hierzu ist es nicht erforderlich, die Reaktionskammer zu belüften. Dies hat schon deshalb einen Vorteil, weil die Schichten dann unmittelbar aufeinander aufgetragen werden können, ohne dass die Gefahr einer Verschmutzung der ersten Schicht besteht, die dann zwischen den beiden Schichten eingeschlossen ist und beispielsweise eine Verschlechterung der optischen Qualität zur Folge hätte. Es ist dabei möglich, unterschiedliche Schichtfolgen herzustellen, beispielsweise können hintereinander drei verschiedene Schichten, nämlich eine Schicht A, eine Schicht B und eine Schicht C erzeugt werden, oder aber eine abwechselnde

Folge gleichartiger Schichten, z. B. zunächst eine Schicht des Typs A, dann eine Schicht des Typs B, nachfolgend wieder eine Schicht des Typs A und abschließend beispielsweise eine Schicht des Typs B. So wird in der Optik, z. B. zur Entspiegelung von Linsen auf der Linsenoberfläche eine Beschichtung mit Titanoxid (TiO_2) und nachfolgend mit Siliciumoxid (SiO_2) aufgetragen, wobei es zur Erzielung eines verbesserten Entspiegelungseffektes günstiger ist, vier Schichten zu bilden als lediglich zwei, so dass die Schichtfolge A-B-A-B vorliegt, wobei die Schicht des Typs A Titanoxid als Schichtbildner beinhaltet, während die Schicht des Typs B Siliciumoxid als Schichtbildner beinhaltet.

[0053] Die Fig. 3 zeigt einen Substraträger, wie er beispielsweise aus Teflon herstellbar ist und mit Substraten, beispielsweise Brillengläsern 12 versehen werden kann. Die Substrate 12 werden dabei im Substraträger so gehalten, dass zwei Flächen der Durchströmung der Reaktionskammer mit dem Prozessgas ausgesetzt sind. Diese Flächen sind dabei jeweils normal zu der ersten Durchströmungsrichtung I und der zweiten Durchströmungsrichtung II, wie sie mit den Pfeilen seitlich des Substraträgers 11 angedeutet wurden. Der Substraträger weist dabei einen Substrattragebereich 15 und den Substrattragebereich allseits umgebende Anströmlflächen 13, in denen kein Substrat befestigt werden kann auf. Die Anströmlflächen sind sowohl seitlich, also in Strömungsrichtung des Prozessgases als auch quer zur Strömungsrichtung des Prozessgases in der Reaktionskammer vor und hinter dem Substrattragebereich ausgebildet. Die Anströmlflächen dienen dazu, Störungen der Strömung des Prozessgases, die durch die Kanten des Substraträgers 11 verursacht werden, abklingen zu lassen, so dass in Substrattragebereich 15, indem die Substrate befestigt werden können, stets eine stationäre Prozessgasströmung, vorzugsweise laminare Prozessgas-Strömung vorhanden ist. Die Substrate sind dabei nebeneinander in Reihen angeordnet, wobei eine Reihe im gewählten Beispiel aus vier nebeneinanderliegenden Substraten besteht. In Strömungsrichtung gesehen sind mehrere, hier fünf, Ebenen von Substratreihen anordenbar, so dass auf einer Fläche in dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel insgesamt 20 Substrate, also 20 Linsen oder Brillengläser angeordnet werden können. Durch die Anordnung mehrerer in der Fig. 3 dargestellter Substraträger in der Richtung normal zu der Fläche des dargestellten Substraträgers und quer zur Durchströmungsrichtung zur ersten Durchströmungsrichtung und zur zweiten Durchströmungsrichtung I und II kann die Anzahl der Substrate in der Reaktionskammer noch vergrößert werden. Es entsteht so eine Art dreidimensionales Gitter von Substraten in der Reaktionskammer, wobei dabei zu beachten ist, dass die Substraträger in der Reaktionskammer so ausreichend voneinander beabstandet sind, dass die Durchströmung der Reaktionskammer zwischen zwei Substraträgern nicht zu sehr behindert wird und auch in diesem Bereich eine laminare Strömung mit der gewünschten Volumenstrom erzeugt wird. Damit keine Störungen der laminaren Strömung durch den Übergang der Substratbereiche am Rand des Substrates im Übergang vom Substraträger zum Substrat und umgekehrt erzeugt wird, ist darauf zu achten, dass der Substraträger möglichst genau flächenbündig an die Substrate anschließt. Werden Substrate unterschiedlicher Materialstärke beschichtet, so muß dafür jeweils ein davon verschiedener Substraträger herangezogen werden. Außerdem ist es aus strömungstechnischer Sicht sehr ungünstig, wenn nicht alle Plätze, in die ein Substrat eingebracht werden kann, belegt sind, da sich in diesem Bereich Störungen der möglichst laminar auszubildenden Strömung erzeugt werden.

[0054] Mit einer Komponente quer zur Strömungsrichtung ragen schräg seitlich von dem Substraträger Halter 14

ab. Die Halter 14 dienen der Befestigung des Substraträgers in der Reaktionskammer. Die Halter sind dabei zur Vermeidung von Störungen der Strömung im Bereich der Anströmrflächen 13 am Substraträger 11 ausgebildet. In Strömungsrichtung gesehen liegt kein Bereich der Halter 14 innerhalb des Substrattragereiches 15 des Substraträgers 11, so dass sichergestellt ist, dass Störungen des Strömungszustandes, die von den Haltern bedingt sind, keinen Einfluß auf das Strömungsverhalten des Prozessgases im Substrattragereich und somit die Beschichtung der Substrate mit dem Schichtbildner haben.

[0055] Die Fig. 4a zeigt in schematischer Darstellung eine Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens. Bei dieser Vorrichtung kann eine Reaktionskammer 20 in den beiden Durchströmungsrichtungen I und II von Prozessgas durchströmt werden. Mittels dem Plasmagenerator 21 kann in der Reaktionskammer 20 ein Plasma erzeugt werden und damit das in der Reaktionskammer 20 eingebrachte Substrat beschichtet werden.

[0056] Damit die Durchströmung der Reaktionskammer 20 in den beiden Durchströmungsrichtungen möglich ist, führt von jedem Ende der Reaktionskammer ein gemeinsamer Leitungsabschnitt 22, 23 zu dem Stellventil. Mittels dem elektrisch ansteuerbaren Stellventil 24 kann jeder der beiden gemeinsamen Leitungsabschnitte 22, 23 jeweils entweder mit der Absaugleitung 28 oder der Gaszufuhrleitung 29 verbunden werden. Darüber hinaus ist in dem dargelegten Ausführungsbeispiel eine Zwischenstellung 0 gegeben, indem keine Durchströmung der Reaktionskammer erfolgt. Befindet sich das Schaltventil in der Ventilstellung I, so ist die Gaszufuhrleitung 29 mit dem ersten gemeinsamen Leitungsabschnitt 22 verbunden und der zweite gemeinsame Leitungsabschnitt 23 ist mit der Absaugleitung 28 fluidisch verbunden, demgemäß erfolgt eine Durchströmung der Reaktionskammer 20 in der ersten Durchströmungsrichtung I. Befindet sich das Stellventil 24 jedoch in der Schaltstellung II, so ist die Gaszufuhrleitung 29 fluidisch mit dem zweiten gemeinsamen Leitungsabschnitt 23 verbunden, hingegen ist die Absaugleitung 28 mit dem ersten gemeinsamen Leitungsabschnitt 22 verbunden, so dass die Durchströmung der Reaktionskammer 20 in der zweiten Durchströmungsrichtung II erfolgt. Zur Erzeugung eines gleichmäßigen Durchströmung der Reaktionskammer 20 ist im Strömungspfad der Absaugleitung 28 die Absaugpumpe 27 angeordnet mit der das Prozessgas aus der Reaktionskammer 20 herausgesaugt wird. Das Prozessgas wird dabei von einer Prozessgasquelle zugeführt. Eine Prozessgasquelle kann zur Erzeugung des Prozessgases, also der Beladung des Trägergases, beispielsweise O_2 , mit Precursor-Substanz in dem Strömungspfad der Gaszufuhrleitung 29 einen Bubbler 25 aufweisen. Als Quelle für das Trägergas kann dabei beispielsweise seine dargestellte Gaszufuhrpumpe 26 dienen, über die das Trägergas, beispielsweise Sauerstoff aus einem Vorratsbehälter herausgepumpt wird, oder aber eine entsprechend mit Druck beaufschlagte Gasquelle für Trägergas vorgesehen sein. Die Beladung mit Precursor-Substanz erfolgt beispielsweise in einem Bubbler 25. Um die Durchführung eines Verfahrens zu ermöglichen, bei dem mehrere Schichten unterschiedlicher Schichtbildner hintereinander erzeugt werden können, ist es möglich, wie in der Figur dargestellt, mehrere Prozessgasquellen 35a, 35b, 35c vorzusehen, die jeweils aus einer Gaszufuhrleitung 29a, einem Bubbler 25a, 25b bzw. 25c und einer gemeinsamen Quelle 26 für das Trägergas bestehen. Über die Zuströmventile 36a, 36b ist es dann möglich, eine der Prozessgasquellen 35a, 35b, 35c fluidisch mit der Gaszufuhrleitung 29 zu verbinden, die dann zu dem Stellventil 24 führt. Hierzu wird das von der gemeinsamen Quelle 26 kommende

Trägergas mittels der Zuströmventile 36a, 36b durch den entsprechenden Bubbler 25a, 25b bzw. 25c, der jeweils mit zugehöriger Precursor-Substanz befüllt ist, geleitet und dann an der Gaszufuhrleitung 29 eingekoppelt.

[0057] Die Fig. 4b zeigt in schematischer Darstellung die Anordnung des Substrates 12, im Substraträger 11 und dessen Halterung mittels der Halter 14 innerhalb der Reaktionskammer 20, sowie dem als Plasmagenerator 21 dienenden Hochfrequenzgenerator RF. In der Zeichnung links ist die Situation für die Durchströmung I der Reaktionskammer in der ersten Durchströmungsrichtung und rechts die Durchströmung der Reaktionskammer 20 in der zweiten Durchströmungsrichtung II dargestellt. Abgesehen von den beiden einander entgegengesetzten Durchströmungsrichtungen und den entsprechend gegenläufigen Strömungspfeilen, die die Strömungsrichtung darstellen soll, entsprechen die Figur der linken und rechten Seite einander. Dabei ist die Reaktionskammer in Durchströmungsrichtung gesehen spiegelsymmetrisch ausgebildet damit in beiden Durchströmungsrichtungen gleiche Strömungsverhältnisse herrschen. Zur Reaktionskammer führt der erste gemeinsame Leistungsabschnitt 22 und von der Reaktionskammer weg führt der zweite gemeinsame Leitungsabschnitt 23. Die Reaktionskammer 20 besteht dabei aus einem Arbeitsbereich 30 und je einem dem Arbeitsbereich 30 vorgeschalteten und nachgeschalteten Diffusor-Bereich 31. In den Diffusor-Bereichen 31 und insbesondere am Übergang des Diffusor-Bereiches 31 zum Arbeitsbereich 30 können Strömungsleitmittel 32 angeordnet sein. Der Diffusor-Bereich und die Strömung 31 und die Strömungsleitmittel 32 dienen dabei jeweils der Erzeugung einer möglichst gleichmässigen, stationären und insbesondere laminaren Strömung innerhalb des Arbeitsbereiches 30. Im Arbeitsbereich 30 ist mittels der Halter 14 und dem Substraträger 11 das Substrat 12 gehalten. Mittels der Diffusor-Abschnitte 31 und der Strömungsleitmittel 32 muß insbesondere in allen Richtungen quer zur Strömungsrichtung I, II sichergestellt werden, dass die Strömungsgeschwindigkeit des Prozessgases möglichst gleich groß ist. Abweichungen in der Strömungsgeschwindigkeit können einen Einfluß auf die Gleichmäßigkeit der Schichtdicke und die Dicke der erzielten Beschichtung haben und damit der Qualität des Verfahrens abträglich sein.

Patentansprüche

1. Plasmabeschichtungsverfahren, insbesondere PACVD-Verfahren, wobei ein Substrat in eine Reaktionskammer eingebracht und eine Prozessgas-Atmosphäre erzeugt wird, wobei das Prozessgas die Reaktionskammer durchströmt, wobei für Beschichtungsvorgänge während der Durchströmung der Reaktionskammer mit Prozessgas wenigstens einmal ein Plasma erzeugt und so eine Beschichtung des Substrats insbesondere mit einer metallhaltigen Schicht erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine Schicht erzeugt wird und daß für die Erzeugung jeder Schicht wenigstens ein erster und wenigstens ein zweiter Beschichtungsvorgang durchgeführt wird, wobei das Substrat vom Prozessgas während erster Beschichtungsvorgänge in einer ersten Überströmungsrichtung und während zweiter Beschichtungsvorgänge in einer zweiten, der ersten Überströmungsrichtung entgegengesetzten Überströmungsrichtung durchströmt wird.
2. Plasmabeschichtungsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Änderung der Überströmungsrichtung des Substrates die Durchströmungsrichtung in der Reaktionskammer (20) umgekehrt wird.

3. Plasmabeschichtungsverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß während Beschichtungsvorgängen ein stationärer Strömungszustand des Prozeßgases in der Reaktionskammer (20) besteht.
4. Plasmabeschichtungsverfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß während Beschichtungsvorgängen eine laminare Strömung konstanter Strömungsgeschwindigkeit erzeugt wird.
5. Plasmabeschichtungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungsgeschwindigkeit in der ersten Überströmungsrichtung der Strömungsgeschwindigkeit in der zweiten Überströmungsrichtung entspricht.
6. Plasmabeschichtungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungsgeschwindigkeit zwischen 0,1 cm/s und 10 cm/s liegt.
7. Plasmabeschichtungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtungsdauern der durchgeführten ersten und zweiten Beschichtungsvorgänge einander entsprechen.
8. Plasmabeschichtungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens drei Beschichtungsvorgänge durchgeführt werden, wobei abwechselnd erste und zweite Beschichtungsvorgänge aufeinander folgen.
9. Plasmabeschichtungsverfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß drei Beschichtungsvorgänge, nämlich ein erster, dann ein zweiter und anschließend wiederum ein erster Beschichtungsvorgang durchgeführt wird, wobei insbesondere die Beschichtungsdauer der ersten Beschichtungsvorgänge halb so groß ist, wie die des zweiten Beschichtungsvorganges.
10. Plasmabeschichtungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen ersten und zweiten Beschichtungsvorgängen ein Warteintervall abgewartet wird.
11. Plasmabeschichtungsverfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des Warteintervalles bis zu 60 s, insbesondere circa 30 s beträgt.
12. Plasmabeschichtungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Beschichtungsvorgang aus mehreren aufeinanderfolgenden Zyklen besteht, wobei in jedem Zyklus eine geeignete Prozeßgasatmosphäre erzeugt und ein Plasma für eine Plasmabrenndauer erzeugt wird.
13. Plasmabeschichtungsverfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmabrenndauer, zwischen 1 Sekunde und 10 Sekunden beträgt.
14. Plasmabeschichtungsverfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß vor einer Plasmaerzeugung ein Erzeugen einer geeigneten Prozeßgas-Atmosphäre erfolgt, indem insbesondere eine kontinuierliche Zufuhr von Prozeßgas vorzugsweise in stationärer, laminarer Durchströmung der Reaktionskammer (20) für ein bestimmtes Zeitintervall vorgenommen wird, wobei das Zeitintervall vorzugsweise dem Zeitbedarf für einen Gasaustausch in der Reaktionskammer (20) wenigstens entspricht und insbesondere zwischen 3 Sekunden und 20 Sekunden beträgt.
15. Plasmabeschichtungsverfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer eines Beschichtungsvorganges über die Anzahl durchzuführender Zyklen bestimmt wird, wobei die Anzahl der Zyklen vorzugsweise zwischen 20 und 100 liegt.
16. Plasmabeschichtungsverfahren nach einem der

- Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß nach Durchführung einer Anzahl von Zyklen eine Evakuierung der Reaktionskammer (20) mit anschließender neuer Befüllung mit einer Prozeßgas-Atmosphäre erfolgt, wobei insbesondere nach dem Evakuieren und vor dem Erzeugen der Prozeßgasatmosphäre ein Spülen der Reaktionskammer (20) mit einem inerten Gas erfolgt.
17. Plasmabeschichtungsverfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Evakuieren mit anschließender neuer Befüllung mit Prozeßgas-Atmosphäre der Reaktionskammer (20) dann erfolgt, wenn ein Wechsel zwischen erstem und zweitem Beschichtungsvorgang erfolgt.
18. Plasmabeschichtungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Folge von wenigstens zwei Schichten erzeugt wird, wobei benachbarte Schichten voneinander unterscheidbar sind.
19. Plasmabeschichtungsverfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß zum Erzeugen unterschiedlicher Schichten Beschichtungsvorgänge in unterschiedlichen Prozeßgasatmosphären, insbesondere durch Beladung des Trägergases mit unterschiedlichen Precursor-Substanzen durchgeführt werden.
20. Vorrichtung zur Beschichtung eines Substrates mit einer vorzugsweise metallhaltigen Schicht, insbesondere nach einem Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Substrat in einer Reaktionskammer (20) angeordnet ist, wobei die Reaktionskammer (20) mit einer Gaszufuhrleitung (29) und einer Gasabfuhrleitung versehen ist, wobei durch ein Plasmaerzeuger in der Reaktionskammer (20) ein Plasma in der Prozeßgasatmosphäre erzeugbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die relative Zuordnung von Substrat zu Gaszufuhrleitung (29) und Gasabfuhrleitung derart ausgebildet ist, daß die Abströmrichtung des Prozeßgases relativ zum Substrat umkehrbar ist.
21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Gaszufuhrleitung (29) und die Gasabfuhrleitung so ausgebildet sind, daß die Strömungsrichtung des Prozeßgases in der Reaktionskammer (20) umkehrbar ist.
22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Gaszufuhrleitungen (29) und die Gasabfuhrleitungen beiderseits der Reaktionskammer (20) einen gemeinsamen Leitungsabschnitt aufweisen, wobei insbesondere über wenigstens ein elektrisch schaltbares Stellventil (24) die fluidische Verbindung eines gemeinsamen Leitungsabschnittes entweder mit einer Gaszufuhrleitung (29) oder einer Gasabfuhrleitung durchführbar ist.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Stellventil (24) derart ausgebildet bzw. angesteuert ist, daß stets eine Gaszufuhrleitung und eine Gasabfuhrleitung mit der Reaktionskammer (20) verbunden ist.
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Mündungsbereich von Gasleitungen in die Reaktionskammer (20) jeweils als Diffusor-Bereich (31) ausgebildet ist und daß sich zwischen den beiden Diffusor-Bereichen (31) ein Arbeitsbereich (30) erstreckt, wobei in dem Arbeitsbereich (30) eine Gasströmung erzeugbar ist, die quer zur Strömungsrichtung gesehen möglichst gleichförmig ist.
25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß im Diffusor-Bereich (31) insbesondere

am Übergang zum Arbeitsbereich (30) Strömungsleitmittel (32) zur Erzeugung einer gleichmäßigen und laminaren Strömung angeordnet sind.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß in der Reaktionskammer (20), insbesondere in deren Arbeitsbereich (30), Substraträger (11) anordenbar sind, die derart ausgebildet sind, daß das Substrat zumindest auf zwei annähernd in der Strömungsrichtung liegenden Flächen beschichtbar ist.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß quer zur Strömungsrichtung wenigstens eine Reihe von wenigstens zwei hintereinander angeordneten, zueinander beabstandeten Substraten so angeordnet ist, daß zwischen den Substraten eine laminare Prozeßgasströmung ausgebildet sein kann.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß quer zur Strömungsrichtung wenigstens zwei nebeneinander angeordnete Reihen vorgesehen sind, wobei jede Reihe aus wenigstens einem Substrat gebildet wird.

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß in Strömungsrichtung gesehen mehrere Ebenen mit Substraten versehbar sind, wobei in jeder der Ebenen wenigstens eine Reihe aus wenigstens einem Substrat vorgesehen ist.

30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß in der Reaktionskammer (20) Halter (14) für die Befestigung von wenigstens einem Substraträger (11) ausgebildet sind, die quer zur Strömungsrichtung verlaufen und die so ausgebildet sind, daß im Substratbereich keine Störungen der laminaren Strömung entstehen.

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21-30, dadurch gekennzeichnet, daß für die Zufuhr von Prozeßgasen mit unterschiedlichen Schichtbildnern mehrere Prozeßgasquellen (35) alternativ zueinander mit der Reaktionskammer (20) fluidisch miteinander verbindbar sind.

32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß jeder der Prozeßgaskammern der Beladung des Prozeßgases mit unterschiedlichen Precursor-Substanzen dient.

33. Vorrichtung nach Anspruch 31 oder 32, dadurch gekennzeichnet, daß eine Prozeßgasquelle (35) aus einem mit Trägergas durchströmten Bubbler (25) besteht.

34. Substraträger (11) für die Beschichtung eines Substrates mit einer metallhaltigen Schicht, insbesondere zur Verwendung in einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß der Substraträger (11)er Aufnahmen zur Anordnung von Substraten aufweist, wobei die Aufnahmen so ausgebildet sind, daß der Substraträger (11) zu den zu beschichtenden, normal zur Durchströmungsrichtung der Reaktionskammer (20) auszurichtenden Flächen des Substrates eine flächenbündige Anlage ausbildet, die eine laminare Überströmung der Übergangsstelle zwischen Substraträger (11) und Substrat nicht perturbiert.

35. Substraträger (11) nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß der Substraträger (11) in den Anströmrichtungen eine substratfreie Anströmfläche (13) aufweist, wobei sich im Bereich der Anströmfläche (13) Perturbationen aus der Anströmung des Substraträgers (11)s beruhigen und sich für substrataufnehmender Bereiche des Substraträgers (11) eine laminare

Strömung ergibt.

36. Substraträger (11) nach einem der Ansprüche 34 oder 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Anströmkannten in der Reaktionskammer (20) quer zu den Durchströmungsrichtungen ausgerichtet und wenigstens 2 cm breit sind.

37. Substraträger (11) nach einem der Ansprüche 33 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß von dem Substraträger (11) Halter (14) zur Befestigung der Substraträger (11) einer Reaktionskammer (20) abragen, wobei die Halter (14) quer zur Strömungsrichtung seitlich von Substraträger (11) abragen und wobei die Halter (14) im Bereich einer substratfreien Durchströmfläche ausgebildet sind.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

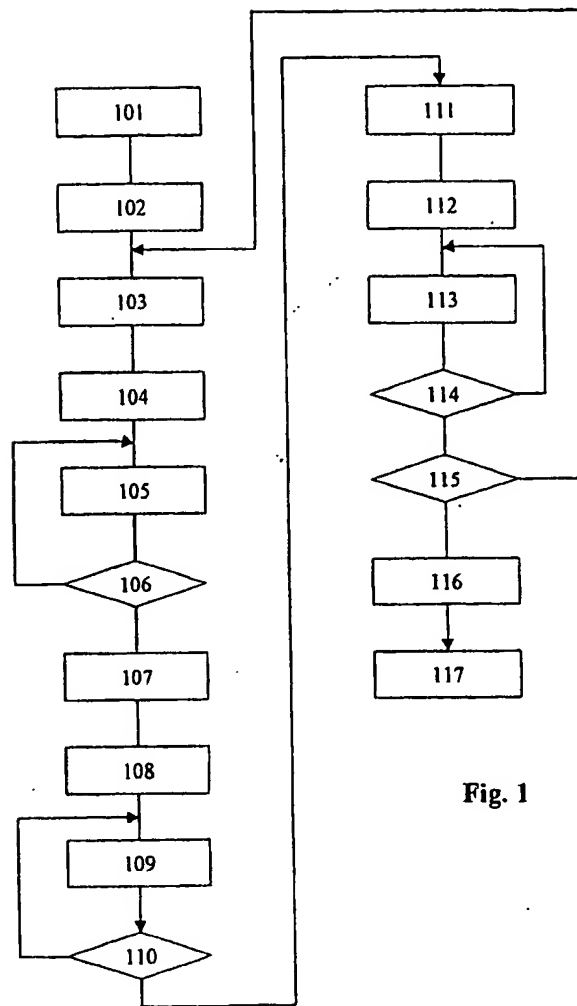
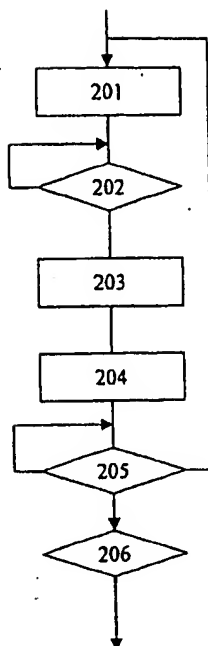


Fig. 1

Fig. 2



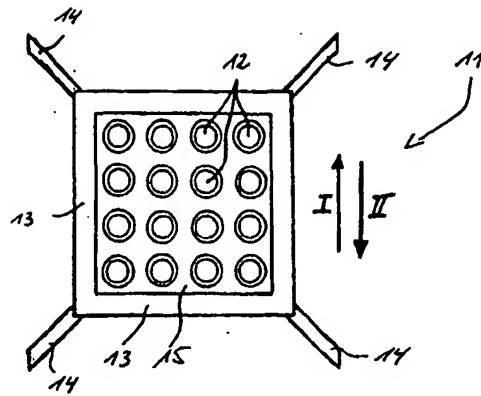


Fig. 3

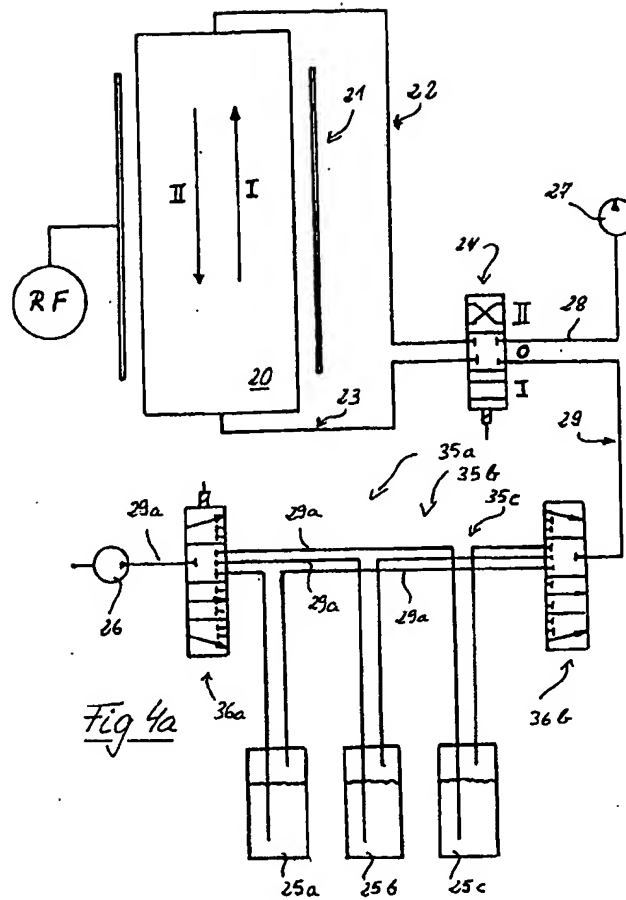


Fig 4a

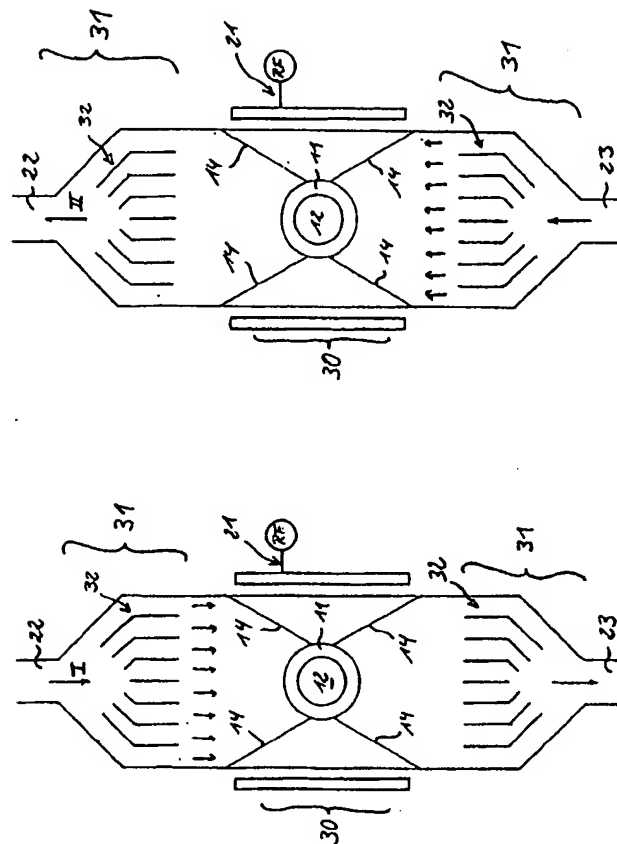


Fig 46

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.